

**CRYSTAL GROWTH METHOD FOR GALLIUM NITRIDE-BASED SEMICONDUCTOR LAYER
CONTAINING INGAN LAYER, GALLIUM NITRIDE-BASED LIGHT-EMITTING ELEMENT, AND
MANUFACTURE THEREOF**

Patent number: JP11054847
Publication date: 1999-02-26
Inventor: KIMURA AKITAKA; SASAOKA CHIAKI
Applicant: NEC CORP
Classification:
- International: H01S3/18; H01L33/00
- European:
Application number: JP19970213273 19970807
Priority number(s):

Abstract of JP11054847

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent the dissociation of In in an InGaN growth layer and minimize the worsening of crystallinity of a growth layer by sequentially forming the InGaN layer and an AlGaIn layer at a particular substrate temperature, and by specifying the relations among the number of layers of AlGaIn layers, thickness of each layer and Al composition ratio of each layer.

SOLUTION: After the growth of an InGaN growth layer and an AlGaIn indium dissociation prevention layer at a substrate temperature of 600 deg.C to 900 deg.C, when the substrate is heated to temperature higher than or equal to 900 deg.C for the growth of GaN or the like, Ga atoms are evaporated from the AlGaIn indium dissociation prevention layer. Because of this, the AlGaIn indium dissociation prevention layer becomes an AlGaIn layer with the aluminum composition being greater than that prior to raising of the temperature, and this layer prevents the slip of In atoms. Here, the relations among the number of layers, thickness of each layer d_i ($i=1, \dots, N$), aluminum composition x_i ($i=1, \dots, N$) of each layer of an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer used as the indium dissociation prevention layer are so made so to satisfy the equation.

$$2[A] \leq \sum_{i=1}^N x_i d_i \leq 10[A]$$

Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-54847

(43)公開日 平成11年(1999) 2月26日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 有 請求項の数8 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平9-213273

(22)出願日 平成9年(1997) 8月7日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 木村 明隆

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72)発明者 笹岡 千秋

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74)代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54)【発明の名称】 InGa_xN層を含む窒化ガリウム系半導体層の結晶成長方法および窒化ガリウム系発光素子およびその製造方法

(57)【要約】

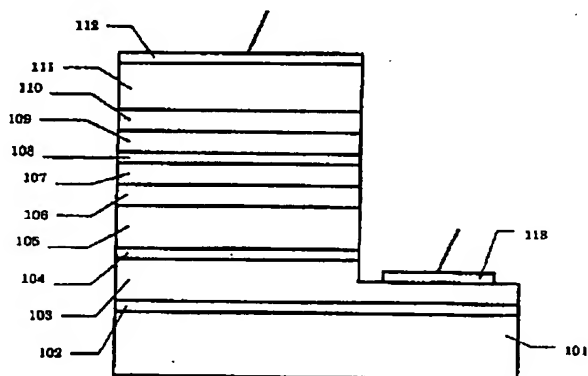
【課題】 比較的低温でInGa_xN層を形成した後に、基板の昇温に伴ってインジウムが解離することを防止し、かつ、InGa_xN層の結晶性の悪化を最小限にとどめることの出来る、InGa_xN層に続いて比較的低温で形成されるAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)層の組成と厚さの範囲を明らかにする。

【解決手段】 基板温度600℃以上900℃以下で一層または複数層のInGa_xN層を形成した後に、連続して基板温度600℃以上900℃以下で一層または複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)層を形成し、基板温度を900℃以上に昇温する。Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)層の層数N、各層の厚さd_i(i=1,...,N)、各層のアルミニウム組成x_i(i=1,...,N)は、

【数1】

$$2[A] \leq \sum_{i=1}^N x_i d_i \leq 10[A]$$

なる関係を満たすように設計する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】InGa_xN層を含む窒化ガリウム系半導体層の結晶成長方法であって、基板温度600℃以上900℃以下でIn_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)を少なくとも一層含む、一層または複数層のIn_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)を形成する工程と、前記工程と連続して基板温度600℃以上900℃以下でAl_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)を少なくとも一層含む、一層または複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)を形成する工程と、基板温度を900℃以上にする工程とを、前記順序で少なくとも含み、かつ、前記Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)の層数N、各層の厚さd_i(i=1,...,N)、各層のアルミニウム組成x_i(i=1,...,N)の間に、

【数1】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

なる関係が満たされることを特徴とする窒化ガリウム系半導体層の結晶成長方法。

【請求項2】請求項1記載の窒化ガリウム系半導体層の結晶成長方法であって、前記Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)が複数の層からなり、かつ、前記複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)のアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加することを特徴とする窒化ガリウム系半導体層の結晶成長方法。

【請求項3】InGa_xN層を含む窒化ガリウム系発光素子の製造方法であって、基板温度600℃以上900℃以下でIn_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)を少なくとも一層含む、一層または複数層のIn_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)を形成する工程と、前記工程と連続して基板温度600℃以上900℃以下でAl_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)を少なくとも一層含む、一層または複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)を形成する工程と、基板温度を900℃以上にする工程とを、前記順序で少なくとも含み、かつ、前記Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)の層数N、各層の厚さd_i(i=1,...,N)、各層のアルミニウム組成x_i(i=1,...,N)の間に、

【数2】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

なる関係が満たされることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子の製造方法。

【請求項4】請求項3記載の窒化ガリウム系発光素子の製造方法であって、前記Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)が複数の層からなり、かつ、前記複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)のアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加することを特徴とする窒化ガリ

ウム系発光素子の製造方法。

【請求項5】請求項3または4記載の窒化ガリウム系発光素子の製造方法であって、前記In_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)は活性層または発光層であることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子の製造方法。

【請求項6】基板上と、前記基板上に基板温度600℃以上900℃以下で成長したIn_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)を少なくとも一層含む、一層または複数層のIn_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)と、前記In_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)に続いて基板温度600℃以上900℃以下でAl_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)を少なくとも一層含む、一層または複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)を成長した後に基板温度を900℃以上に形成したAl_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)とを有し、前記Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)の層数N、各層の厚さd_i(i=1,...,N)、各層のアルミニウム組成x_i(i=1,...,N)の間に、

【数3】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

なる関係が満たされることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【請求項7】請求項6記載の窒化ガリウム系発光素子であって、前記Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)が複数の層からなり、かつ、前記複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)のアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加することを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【請求項8】請求項6または7記載の窒化ガリウム系発光素子であって、前記In_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)活性層または発光層であることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般式In_xGa_{1-x}N(0<x≤1)で表される半導体層を少なくとも1層含む、一層あるいは複数層のIn_xGa_{1-x}N(0≤x≤1)を有する窒化ガリウム系半導体層の結晶成長方法に関する。

【0002】また一般式In_xGa_{1-x}N(0<x≤1)で表される半導体層を少なくとも1層含む、一層あるいは複数層のIn_xGa_{1-x}N(0≤x≤1)を有する窒化ガリウム系発光素子及びその製造方法に関する。

【0003】

【従来の技術】窒化ガリウムは、燐化インジウムや砒化ガリウムといった他の一般的な化合物半導体に比べ、禁制帯エネルギーが大きい。そのため、一般式In_xAl_yGa_{1-x-y}N(0≤x≤1、0≤y≤1、0≤x+y≤1)で表される半導体(以下窒化ガリウム系半導体)

は緑から紫外にかけての発光素子、特に半導体レーザー（以下単にレーザー）への応用が期待されている。

【0004】従来、窒化ガリウムの結晶成長には900℃程度以上の基板温度が必要であるにも関わらず、一般式 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) で表される半導体層の結晶成長は、インジウムの蒸気圧が高いために、比較的低温である600℃ないし900℃程度の基板温度で行われていた。

【0005】《従来例1》図10は、従来のInGaN層の結晶成長方法により、多重量子井戸構造の活性層が形成された、窒化ガリウム系レーザーの概略断面図である（S. Nakamura et Al., Extended Abstracts of 1996 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, 1996, pp. 67-69）。図10に於いて、この窒化ガリウム系レーザーは、(11-20)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Å（オングストローム）のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3μmのN型窒化ガリウムコンタクト層103、珪素が添加された厚さ0.1μmのN型 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ クラック防止層104、珪素が添加された厚さ0.4μmのN型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1μmのN型窒化ガリウム光ガイド層106、厚さ25Å（オングストローム）のアンドープの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のアンドープの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層107、マグネシウムが添加された厚さ200Å（オングストローム）のp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層608、マグネシウムが添加された厚さ0.1μmのp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4μmのp型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.2μmのp型窒化ガリウムコンタクト層111、ニッケル（第1層）および金（第2層）からなるp電極112、チタン（第1層）およびアルミニウム（第2層）からなるN電極113が形成されている。多重量子井戸構造活性層107およびp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層608は基板温度800℃で、p型窒化ガリウム光ガイド層109、p型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層110、p型窒化ガリウムコンタクト層111は基板温度1020℃で形成された。

【0006】《従来例2》図11は、従来のInGaN層の結晶成長方法により、発光層が形成された、従来の窒化ガリウム系発光ダイオードの概略断面図である（S. Nakamura et Al., Jpn. J. Appl. Phys. 32(1993)L8）。図11に於いて、この窒化ガリウム系発光ダイオードは、(0001)面を表面とするサファイア基板201上に、厚さ250Å（オングストローム）のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が

添加された厚さ4μmのN型窒化ガリウムコンタクト層103、珪素が添加された厚さ200Å（オングストローム）の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 発光層207、マグネシウムが添加されたp型窒化ガリウムコンタクト層111、金からなるp電極212、アルミニウムからなるN電極213が形成されている。 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 発光層207およびアンドープの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層608は基板温度800℃で、p型窒化ガリウムコンタクト層111は基板温度1020℃で形成された。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】図10に示された、従来のInGaN層の結晶成長方法により活性層が形成された窒化ガリウム系レーザーに於いては、基板温度800℃での多重量子井戸構造活性層107の形成が終了した後、p型窒化ガリウム光ガイド層109を形成するために基板を1020℃まで昇温する際に、多重量子井戸構造活性層107中のインジウムが解離することを防止するために、多重量子井戸構造活性層107よりも表面側に、多重量子井戸構造活性層107に接して、多重量子井戸構造活性層107と同じ基板温度800℃で、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層608が形成されている。しかし、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) と $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$) は格子定数が異なるにも関わらず、従来例1では $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層608の厚さが200Å（オングストローム）と厚く、かつ、アルミニウム組成も0.2と大きいために、大きな格子歪が多重量子井戸構造活性層107に加わり、多重量子井戸構造活性層107の結晶性の悪化がもたらされている。一方、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層608の厚さを薄く、または、アルミニウム組成を小さくした場合、基板の昇温により多重量子井戸構造活性層107中のインジウムが解離することを防止できない恐れがある。

【0008】図11に示された、従来のInGaN層の結晶成長方法により発光層が形成された窒化ガリウム系発光ダイオードに於いては、基板温度800℃での $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 発光層207の形成が終了した後、p型窒化ガリウムコンタクト層111を形成するために基板を1020℃まで昇温する際に、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 発光層207中のインジウムが解離し、設計値通りの発光波長で発光しない恐れがある。

【0009】本発明の目的は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の比較的低温で形成された $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) を有する窒化ガリウム系半導体層の中のインジウムが、基板温度を900℃以上とすることに伴って解離するのを防止し、かつ、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) の結晶性の悪化を最小限にとどめることのできる、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) よりも表面側に、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) に接して、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも

も一層含む、一層または複数層の比較的低温で形成される $Al_x Ga_{1-x} N$ インジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) の組成と厚さの範囲を明らかにすることによって、結晶性の良い $In_x Ga_{1-x} N$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) を形成できる結晶成長方法を提供することである。

【0010】さらに、このような結晶成長方法を用いて、しきい値電流などの特性の良い窒化ガリウム系発光素子を提供することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化ガリウム系半導体の結晶成長方法は、基板温度 $600^\circ C$ 以上 $900^\circ C$ 以下で $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) を形成する工程と、前記工程と連続して基板温度 $600^\circ C$ 以上 $900^\circ C$ 以下で $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) を形成する工程と、基板温度を $900^\circ C$ 以上にする工程とを、前記順序で少なくとも含み、かつ、前記 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) の層数 N 、各層の厚さ d_i ($i = 1, \dots, N$)、各層のアルミニウム組成 x_i ($i = 1, \dots, N$) の間に、

【0012】

【数4】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^N x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

【0013】なる関係が満たされることを特徴とする。

【0014】また、前記 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) が複数の層からなり、かつ、前記複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) のアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加することを特徴とする。

【0015】本発明の窒化ガリウム系発光素子の製造方法は、基板温度 $600^\circ C$ 以上 $900^\circ C$ 以下で $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) を形成する工程と、前記工程と連続して基板温度 $600^\circ C$ 以上 $900^\circ C$ 以下で $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) を形成する工程と、基板温度を $900^\circ C$ 以上にする工程とを、前記順序で少なくとも含み、かつ、前記 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) の層数 N 、各層の厚さ d_i ($i = 1, \dots, N$)、各層のアルミニウム組成 x_i ($i = 1, \dots, N$) の間に、

【0016】

【数5】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^N x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

【0017】なる関係が満たされることを特徴とする。

【0018】また前記 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) が複数の層からなり、かつ、前記複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) のアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加することを特徴とする。

【0019】本発明の窒化ガリウム系発光素子は、基板上と、前記基板上に基板温度 $600^\circ C$ 以上 $900^\circ C$ 以下で成長した $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) と、前記 $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) に続いて基板温度 $600^\circ C$ 以上 $900^\circ C$ 以下で $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) を成長した後に基板温度を $900^\circ C$ 以上にして形成した $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) とを有し、前記 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) の層数 N 、各層の厚さ d_i ($i = 1, \dots, N$)、各層のアルミニウム組成 x_i ($i = 1, \dots, N$) の間に、

【0020】

【数6】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^N x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

【0021】なる関係が満たされることを特徴とする。

【0022】また前記 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) が複数の層からなり、かつ、前記複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) のアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加することを特徴とする。

【0023】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について、図面を参照して詳しく説明する。本実施の形態では、基板上に比較的低温で形成された $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $In_x Ga_{1-x} N$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) と記す) 中のインジウムが、基板の昇温に伴なって解離することを防止するために、 $In_x Ga_{1-x} N$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) よりも表面側に、 $In_x Ga_{1-x} N$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) に接して、比較的低温で形成される $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) (以下、 $Al_x Ga_{1-x} N$ インジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) と記す) を形成している。

【0024】通常 GaN の成長は $1000^\circ C$ 程度以上の基板温度で行うが、これは N 原子のみならず、 Ga 原子もまた蒸発する温度である。しかし、 Al 原子の蒸発にはさらに高温 ($1200^\circ C$ 程度以上) が必要となる。したがって基板温度 $600^\circ C$ 以上 $900^\circ C$ 以下で $In_x Ga_{1-x} N$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$)、 $Al_x Ga_{1-x} N$ インジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) を成長した後に、 GaN 等の成長のために基板を $900^\circ C$ 以上にした場合、 G

a原子が $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) から蒸発する。このため、 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) は昇温前よりAl組成が大きくなった $Al_x Ga_{1-x}$ N層 ($0 < x \leq 1$) となり、この層がIn原子の抜けを防止する。なおGaの蒸発の割合は、 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) を形成した際の温度、昇温後の温度、昇温の速さ、昇温してから成長を始めるまでの待機時間などに依存して変化する。

【0025】ここで昇温時に作成されたAl組成が大きくなった $Al_x Ga_{1-x}$ N層 ($0 < x \leq 1$) は、格子定数が $In_x Ga_{1-x}$ N成長層 ($0 \leq x \leq 1$) と異なるため、 $In_x Ga_{1-x}$ N成長層 ($0 \leq x \leq 1$) の結晶性に悪化を与えることになる。

【0026】この結晶性の悪化の影響を最小限にとどめるために、Ga原子の蒸発によってAl組成が大きくなった $Al_x Ga_{1-x}$ N層 ($0 < x \leq 1$) のパラメータとして $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) におけるAl組成と層厚の積に着目した。 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) のAl組成と層厚が $In_x Ga_{1-x}$ N成長層 ($0 \leq x \leq 1$) 層に与える影響を調べるため、 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) の組成と厚さをAl組成0.1、厚さが25Å (オングストローム) の $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ N層 (試料1)、Al組成0.1、厚さが50Å (オングストローム) の $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ N層 (試料2)、Al組成0.1、厚さが100Å (オングストローム) の $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ N層 (試料3) とする3種類の試料を作成した。

【0027】以下、 $In_x Ga_{1-x}$ N成長層 ($0 \leq x \leq 1$) 層に接して形成する $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) の組成と厚さの最適な範囲について説明する。

【0028】図5は、作成した3種類の試料に共通な概略断面図である。図5に於いて、試料は、有機金属化学気相成長法により、厚さ330μmの(11-20)面を表面とするサファイア基板上101に、窒化ガリウム低温バッファ層102、アンドープの厚さ1μmの窒化ガリウム層501、基板温度650℃でアンドープの厚さ30Å (オングストローム) の $In_{0.2} Ga_{0.8}$ N量子井戸層とアンドープの厚さ90Å (オングストローム) の窒化ガリウム障壁層とからなる5周期の多重量子井戸構造502、アンドープの $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ Nインジウム解離防止層503を形成し、基板温度1050℃に昇温した後、アンドープの厚さ0.1μmの窒化ガリウム層504を形成した。

【0029】図6は、図5に示された $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ N層503の厚さが25Å (オングストローム) の試料1、図7は $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ N層503の厚さが50Å (オングストローム) の試料2、図8は、 $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ N層503の厚さが100Å (オングストローム) の試料3の室温に於けるpLスペクトルの測定結果である。pLスペクトルの測定に於ける励起光源としては、波長325nmのHe-Cdレーザを用いた。

【0030】従来例の $Al_{0.2} Ga_{0.8}$ N層608は厚さ200Å (オングストローム)、アルミニウム組成0.2であるが、 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) の厚さとアルミニウム組成の積を従来例の $Al_{0.2} Ga_{0.8}$ N層608より小さくしても、インジウムの解離を防止するという目的に支障がない場合は、厚さとアルミニウム組成の積を小さくした方が不要な格子歪がInGaIn層に導入されないため望ましい。

【0031】しかし、組成と厚さの積が2Å (オングストローム) 程度以下になると、基板昇温時にGa原子が $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) から全て蒸発した場合に、単原子層未満の窒化アルミニウム (AlN) しか残らないため、インジウムの解離を防止するという目的に支障がある。したがって成長する $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) のAl組成と厚さの積の下限は2Å (オングストローム) より大きいことが望ましい。

【0032】一方、試料1~3に於いて、図6に示されたpLスペクトルの半値全幅は105meV、図7に示されたpLスペクトルの半値全幅は85meV、図8に示されたpLスペクトルの半値全幅は120meVであって、図7に比べ図6および図5に示されたpLスペクトルの半値全幅が広がる。

【0033】試料1~3のpLスペクトルの測定結果から得られた、 $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ Nインジウム解離防止層の厚さとpLスペクトルの半値全幅の関係を示すグラフを図9に示す。窒化ガリウム系レーザのしきい値電流密度と、その活性層の室温に於けるpLスペクトルの半値全幅は密接な関係があり、しきい値電流密度を2kA/cm²程度以下を実現するためには、その活性層の室温に於けるpLスペクトルの半値全幅が120meV程度以下であることが望ましい。

$Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) のAl組成と層厚の積が大きくなると、不要な歪が $In_x Ga_{1-x}$ N成長層 ($0 \leq x \leq 1$) に加わりpLスペクトルの半値全幅に影響を与えることになる。したがって、 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) の厚さとアルミニウム組成の積の上限は10Å (オングストローム) より小さいことが望ましい。

【0034】このようにインジウム解離防止層として用いる $Al_x Ga_{1-x}$ N層 ($0 \leq x \leq 1$) の層数N、各層の厚さ d_i ($i=1, \dots, N$)、各層のアルミニウム組成 x_i ($i=1, \dots, N$) の関係が、次の

(1) 式

【0035】

【数7】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

【0036】を満たす範囲であればよいことがわかる。

【0037】なお、図9において、Al組成0.1の場合の層厚として60Å（オングストローム）付近でpレスペクトル半値全幅（meV）が最も小さくなるのはインジウムの蒸発防止と不要な歪の低減という2つのトレードオフからたらされるものである。

【0038】以下に、本発明の実施の形態を適用した実施例を説明する。

【0039】《実施例1》図1は、実施の形態で説明したインジウム解離防止層の組成と層厚の関係を適用して形成された、本発明の窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。図1に於いて、この窒化ガリウム系レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Å（オングストローム）のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3μmのN型窒化ガリウムコンタクト層103、珪素が添加された厚さ0.1μmのN型In_{0.05}Ga_{0.95}Nクラッド防止層104、珪素が添加された厚さ0.4μmのN型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1μmのN型窒化ガリウム光ガイド層106が形成され、基板温度800℃で厚さ25Å（オングストローム）のアンドープのIn_{0.2}Ga_{0.8}N量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のアンドープのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層107、マグネシウムが添加された厚さ50Å（オングストローム）のp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N層108が形成され、その後基板温度1020℃でマグネシウムが添加された厚さ0.1μmのp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4μmのp型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.2μmのp型窒化ガリウムコンタクト層111が形成されている。p電極112には、ニッケル（第1層）および金（第2層）を用い、N電極113には、チタン（第1層）およびアルミニウム（第2層）を用いている。

【0040】実施例1に於いては、Al_{0.1}Ga_{0.9}N層108の厚さとして50Å（オングストローム）を、アルミニウム組成として0.1を採用することにより、Al_{0.1}Ga_{0.9}N層108により多重量子井戸構造活性層107中のインジウムの解離を防止することと、Al_{0.1}Ga_{0.9}N層108による多重量子井戸構造活性層107の結晶性の悪化を最小限にとどめることを両立させた。そのため、従来例1に示された従来のInGaIn層の結晶成長方法により活性層が形成された窒化ガリウム系レーザに比べ、低い発振しきい値電流が実現される。

【0041】《実施例2》図2は、本発明のInGaIn層の結晶成長方法を用いて発光層が形成された、本発明の窒化ガリウム系発光ダイオードの概略断面図である。図2に於いて、この窒化ガリウム系発光ダイオードは、(0001)面を表面とするサファイア基板201上に、厚さ250Å（オングストローム）のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ4μmのN型窒化ガリウムコンタクト層103が形成され、基板温度800℃で珪素が添加された厚さ200Å（オングストローム）のIn_{0.2}Ga_{0.8}N発光層207、厚さ25Å（オングストローム）のアンドープのAl_{0.2}Ga_{0.8}N層208が形成され、基板温度1020℃でマグネシウムが添加されたp型窒化ガリウムコンタクト層111が形成されている。p電極212には金、N電極213にはアルミニウムが用いられている。

【0042】実施例2に於いては、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層208の厚さとして25Å（オングストローム）を、アルミニウム組成として0.2を採用することにより、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層208によりIn_{0.2}Ga_{0.8}N発光層207中のインジウムの解離を防止することと、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層208によるIn_{0.2}Ga_{0.8}N発光層207の結晶性の悪化を最小限にとどめることを両立させたため、従来例2に示された従来のInGaIn層の結晶成長方法により発光層が形成された窒化ガリウム系発光ダイオードに比べ、設計値通りの発光波長および狭い半値全幅の発光スペクトルが実現される。

【0043】《実施例3》図3は、本発明のInGaIn層の結晶成長方法を用いて活性層が形成された、本発明の窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。図3に於いて、この窒化ガリウム系レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Å（オングストローム）のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3μmのN型窒化ガリウムコンタクト層103、珪素が添加された厚さ0.1μmのN型In_{0.05}Ga_{0.95}Nクラッド防止層104、珪素が添加された厚さ0.4μmのN型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1μmのN型窒化ガリウム光ガイド層106が形成され、基板温度800℃で、厚さ25Å（オングストローム）のアンドープのIn_{0.2}Ga_{0.8}N量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のアンドープのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層107が形成され、その後、基板温度1020℃でマグネシウムが添加された厚さ50Å（オングストローム）のp型AlGaIn層308、マグネシウムが添加された厚さ0.1μmのp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4μmのp型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.2μmのp型

窒化ガリウムコンタクト層111が形成される。p電極112には、ニッケル(第1層)および金(第2層)を、N電極113には、チタン(第1層)およびアルミニウム(第2層)が用いられている。

【0044】p型AlGaIn層308はそれぞれ異なるアルミニウム組成の複数の層からなっている。p型AlGaIn層308の詳細を示す概略断面図を図4に示す。図4に於いて、p型AlGaIn層308は、マグネシウムが添加された厚さ10Å(オングストローム)のp型 $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 層401、マグネシウムが添加された厚さ10Å(オングストローム)のp型 $Al_{0.075}Ga_{0.925}N$ 層402、マグネシウムが添加された厚さ10Å(オングストローム)のp型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 層403、マグネシウムが添加された厚さ10Å(オングストローム)のp型 $Al_{0.125}Ga_{0.875}N$ 層404、マグネシウムが添加された厚さ10Å(オングストローム)のp型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ 層405からなる。

【0045】実施例3に於いては、AlGaIn層308を、アルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加する、それぞれ厚さ10Å(オングストローム)の5層により構成することにより、前記AlGaIn層308により多重量子井戸構造活性層107中のインジウムの解離を防止することと、前記AlGaIn層308による多重量子井戸構造活性層107の結晶性の悪化を最小限にとどめることを両立させた。そのため、実施例1に示された本発明のInGaIn層の結晶成長方法により活性層が形成された窒化ガリウム系レーザに比べても、さらに低い発振しきい値電流が実現される。

【0046】上記実施例1および実施例3に記載の窒化ガリウム系レーザ及び実施例2に記載の窒化ガリウム系発光ダイオードは、(11-20)面を表面とするサファイア基板上に形成されているが、(0001)面を表面とするサファイア基板上に形成しても、本発明の実施に支障はない。

【0047】さらに、上記実施例1〜3に記載の窒化ガリウム系発光素子は、(0001)面または(11-20)面を表面とするサファイア基板上に形成しなくとも、例えば炭化珪素基板あるいは $MgAl_2O_4$ 基板あるいは窒化ガリウム基板あるいは(0001)面および(11-20)面以外の面を表面とするサファイア基板といった他の基板上に形成した場合も、本発明の実施に支障はない。

【0048】また、本発明の実施は上記実施例に示された構造の窒化ガリウム系発光素子に限られるのではなく、各層の層厚や各層の組成や各層のドーピング濃度や電極材料などの様々な組み合わせの窒化ガリウム系発光素子に於いて支障はない。

【0049】また、インジウムの解離を防止する $Al_xGa_{1-x}N$ 層($0 \leq x \leq 1$)は、上記実施例1および実施例3に示されたようなマグネシウムが添加されたp

型、あるいは上記実施例2に示されたようなアンドープである必要はなく、珪素などが添加されたN型であっても、本発明の実施に支障はない。

【0050】また、インジウムの解離を防止する $Al_xGa_{1-x}N$ 層($0 \leq x \leq 1$)は、アルミニウム組成の異なる複数の層からなっている、たとえそれが上記実施例3に示されたようなアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加するものでなくとも、実施例1に示された窒化ガリウム系レーザの単層の $Al_xGa_{1-x}N$ 層($0 \leq x \leq 1$)と同等の効果はある。また実施例2にも適用可能である。

【0051】また $Al_{0.1}Ga_{0.9}NonGaIn$ on $Al_{0.2}Ga_{0.8}NonGaIn$ のような多層膜のインジウム解離層では各Al組成と膜厚を考慮し、かつ、600℃以上900℃以下の比較的低温で多層膜を成長しておけばよい。

【0052】なお、本実施例では、 $In_xGa_{1-x}N$ 成長層($0 \leq x \leq 1$)を活性層または発光層とした場合について記載したが、これに限られるものではない。

【0053】

【発明の効果】本発明は、 $In_xGa_{1-x}N$ 層($0 < x \leq 1$)を少なくとも一層含む、一層または複数層の $In_xGa_{1-x}N$ 成長層($0 \leq x \leq 1$)を有する窒化ガリウム系半導体層において、基板温度が900℃以上になっても、インジウムの解離を防止することができ、かつ、 $In_xGa_{1-x}N$ 成長層($0 \leq x \leq 1$)の結晶性の悪化を最小限にとどめることができる。

【0054】また結晶性の良い $In_xGa_{1-x}N$ 成長層($0 \leq x \leq 1$)を形成できるため、しきい値電流などの特性の良い発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1に示された、本発明のInGaIn層の結晶成長方法を用いて活性層が形成された、本発明の窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

【図2】実施例2に示された、本発明のInGaIn層の結晶成長方法を用いて発光層が形成された、本発明の窒化ガリウム系発光ダイオードの概略断面図である。

【図3】実施例3に示された、本発明のInGaIn層の結晶成長方法を用いて活性層が形成された、本発明の窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

【図4】図7に示された本発明の窒化ガリウム系レーザのAlGaInインジウム解離防止層の概略断面図である。

【図5】試料1〜3の概略断面図である。

【図6】試料1のPLスペクトルの測定結果を示すグラフである。

【図7】試料2のPLスペクトルの測定結果を示すグラフである。

【図8】試料3のPLスペクトルの測定結果を示すグラフである。

【図9】試料1～3に於ける、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ インジウム解離防止層の厚さとPLスペクトルの半値全幅の関係を示すグラフである。

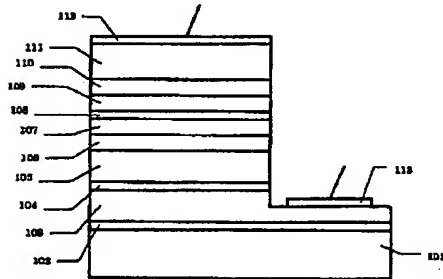
【図10】従来の技術を用いた窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

【図11】従来の技術を用いた窒化ガリウム系発光ダイオードの概略断面図である。

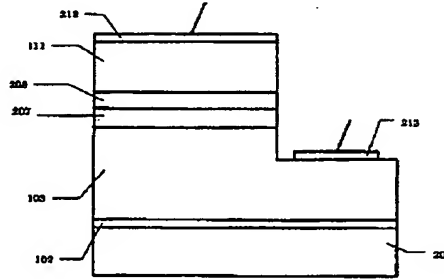
【符号の説明】

- | | | | |
|-----|---|-----|---|
| 101 | (11-20)面を表面とするサファイア基板 | 111 | p型窒化ガリウムコンタクト層 |
| 102 | 窒化ガリウム低温成長バッファ層 | 112 | ニッケルおよび金からなるp電極 |
| 103 | N型窒化ガリウムコンタクト層 | 113 | チタンおよびアルミニウムからなるN電極 |
| 104 | N型 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ クラック防止層 | 201 | (0001)面を表面とするサファイア基板 |
| 105 | N型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層 | 207 | $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 発光層 |
| 106 | N型窒化ガリウム光ガイド層 | 208 | $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層 |
| 107 | 多重量子井戸活性層 | 212 | 金からなるp電極 |
| 108 | p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層 | 213 | アルミニウムからなるN電極 |
| 109 | p型窒化ガリウム光ガイド層 | 308 | p型 AlGaIn 層 |
| 110 | p型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層 | 401 | p型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層 |
| | | 402 | p型 $\text{Al}_{0.075}\text{Ga}_{0.925}\text{N}$ 層 |
| | | 403 | p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層 |
| | | 404 | p型 $\text{Al}_{0.125}\text{Ga}_{0.875}\text{N}$ 層 |
| | | 405 | p型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層 |
| | | 501 | 窒化ガリウム層 |
| | | 502 | 多重量子井戸構造 |
| | | 503 | $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層 |
| | | 608 | p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 |

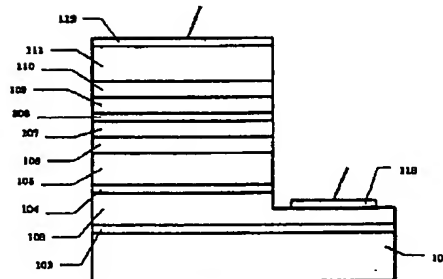
【図1】



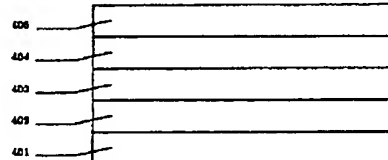
【図2】



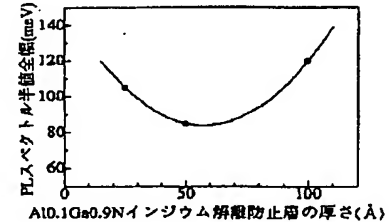
【図3】



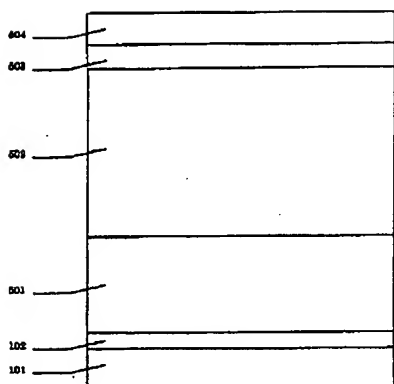
【図4】



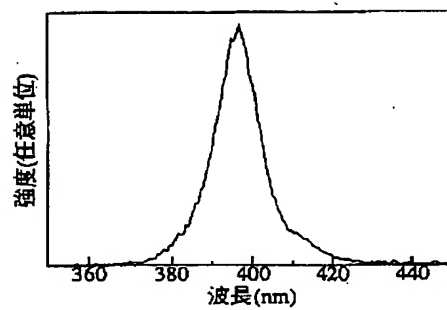
【図9】



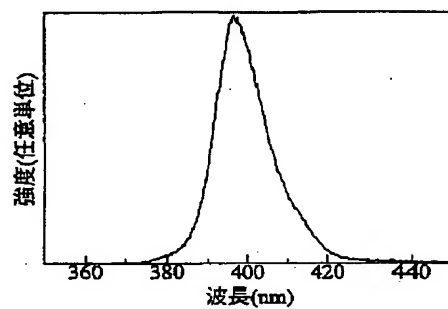
【図5】



【図6】

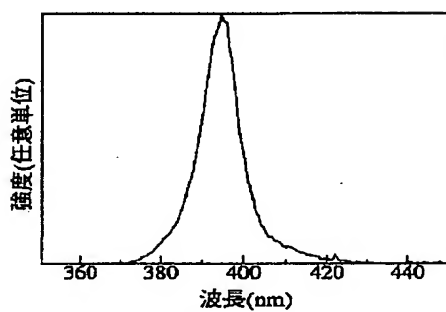


【図8】

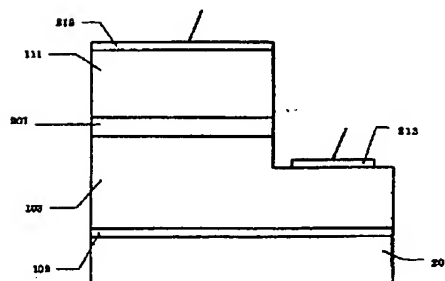
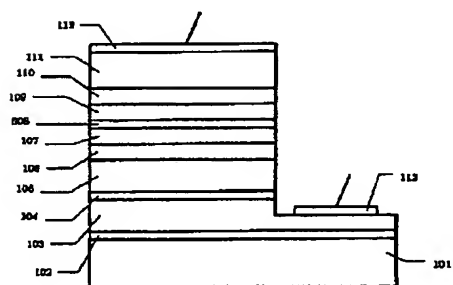


【図11】

【図7】



【図10】



* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] InGaN It is the crystal-growth method of the gallium-nitride system semiconductor layer containing a layer. It is $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less. $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ of a monostromatic or two or more layers which contains a layer ($0 < x \leq 1$) further at least The process which forms a layer ($0 \leq x \leq 1$), The process which forms the monostromatic or the two or more layers $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) which contains further an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) at least continuously with the aforementioned process at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less, the process which makes substrate temperature 900 degrees C or more -- the aforementioned sequence -- at least -- containing -- and between the number of layers N of the aforementioned $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$), the thickness d_i ($i = 1, \dots, N$) of each class, and the aluminum composition x_i ($i = 1, \dots, N$) of each class,

[Equation 1]

$$2[A] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[A]$$

The crystal-growth method of the gallium-nitride system semiconductor layer characterized by filling an unrelated relation.

[Claim 2] The crystal-growth method of the gallium-nitride system semiconductor layer characterized by being the crystal-growth method of a gallium-nitride system semiconductor layer according to claim 1, and for the aforementioned $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) consisting of two or more layers, and aluminum composition of a two or more aforementioned layers $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) applying and increasing from a substrate side to a front-face side.

[Claim 3] Are the manufacture method of the gallium-nitride system light emitting device containing an InGa_N layer, and an In_xGa_{1-x}N layer ($0 < x \leq 1$) is further included at least at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less. The process which forms a monostromatic or a two or more layers In_xGa_{1-x}N layer ($0 < x \leq 1$), The process which forms the monostromatic or the two or more layers Al_xGa_{1-x}N layer ($0 \leq x \leq 1$) which contains further an Al_xGa_{1-x}N layer ($0 < x \leq 1$) at least continuously with the aforementioned process at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less, the process which makes substrate temperature 900 degrees C or more -- the aforementioned sequence -- at least -- containing -- and between the number of layers N of the aforementioned Al_xGa_{1-x}N layer ($0 \leq x \leq 1$), the thickness d_i ($i = 1, \dots, N$) of each class, and the aluminum composition x_i ($i = 1, \dots, N$) of each class,

[Equation 2]

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

The manufacture method of the gallium-nitride system light emitting device characterized by filling an unrelated relation.

[Claim 4] The manufacture method of the gallium-nitride system light emitting device characterized by being the manufacture method of a gallium-nitride system light emitting device according to claim 3, and for the aforementioned Al_xGa_{1-x}N layer ($0 \leq x \leq 1$) consisting of two or more layers, and aluminum composition of a two or more aforementioned layers Al_xGa_{1-x}N layer ($0 \leq x \leq 1$) applying and increasing from a substrate side to a front-face side.

[Claim 5] It is the manufacture method of the gallium-nitride system light emitting device which is the manufacture method of a gallium-nitride system light emitting device according to claim 3 or 4, and is characterized by the aforementioned In_xGa_{1-x}N layer ($0 < x \leq 1$) being a barrier layer or a luminous layer.

[Claim 6] The monostromatic or the two or more layers In_xGa_{1-x}N layer ($0 \leq x \leq 1$) which contains further at least the In_xGa_{1-x}N layer ($0 < x \leq 1$) which grew on the substrate and the aforementioned substrate at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less, An Al_xGa_{1-x}N layer ($0 < x \leq 1$) is further included at least following the aforementioned In_xGa_{1-x}N layer ($0 \leq x \leq 1$) at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less. It has the Al_xGa_{1-x}N layer ($0 < x \leq 1$) which made substrate temperature 900 degrees C or more, and formed it after growing up a monostromatic or a two or more layers Al_xGa_{1-x}N layer ($0 \leq x \leq 1$). Between the number of layers N of the aforementioned Al_xGa_{1-x}N layer ($0 \leq x \leq 1$),

the thickness d_i ($i = 1, \dots, N$) of each class, and the aluminum composition x_i ($i = 1, \dots, N$) of each class,

[Equation 3]

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

The gallium-nitride system light emitting device characterized by filling an unrelated relation.

[Claim 7] The gallium-nitride system light emitting device characterized by being a gallium-nitride system light emitting device according to claim 6, and for the aforementioned $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) consisting of two or more layers, and aluminum composition of a two or more aforementioned layers $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) applying and increasing from a substrate side to a front-face side.

[Claim 8] The gallium-nitride system light emitting device characterized by being a gallium-nitride system light emitting device according to claim 6 or 7, and being the aforementioned $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) barrier layer or a luminous layer.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention contains at least one layer of semiconductor layers expressed with general formula $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ ($0 < x \leq 1$) -- it is further -- it is -- it is related with the crystal-growth method of a gallium-nitride system semiconductor layer of having $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) of two or more layers

[0002] moreover, at least one layer of semiconductor layers expressed with general formula $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ ($0 < x \leq 1$) is included -- it is further -- it is -- it is related with the gallium-nitride system light emitting device which has $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) of two or more layers, and its manufacture method

[0003]

[Description of the Prior Art] Compared with other general compound semiconductors, such as an indium phosphide and a gallium arsenide, forbidden-band energy of a gallium nitride is large. Therefore, the application to the light emitting device over which the semiconductor (following gallium-nitride system semiconductor) expressed with general formula $\text{In}_x \text{Al}_y \text{Ga}_{1-x-y} \text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq x+y \leq 1$) is covered ultraviolet from green, especially semiconductor laser (following only laser) is expected.

[0004] the crystal growth of the former and a gallium nitride -- the substrate

temperature of about 900 degrees C or more -- being also required -- since the crystal growth of a semiconductor layer expressed with ***** and general formula $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) had the high vapor pressure of an indium, it was performed at the substrate temperature of 600 degrees C or about 900 degrees C which is low temperature comparatively

[0005] <<conventional example 1>> Drawing 10 is the outline cross section of the gallium-nitride system laser in which the barrier layer of multiplex quantum well structure was formed by the crystal-growth method of the conventional InGaN layer (S. Nakamura et al., Extended Abstracts of 1996 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, 1996, pp. 67-69). In drawing 10 this gallium-nitride system laser (11-20) On the silicon on sapphire 101 used as a front face, a field thickness 300Å 3 micrometers in thickness by which the gallium-nitride low-temperature growth buffer layer 102 of undoping of (angstrom) and silicon were added 0.1 micrometers in thickness by which the N type gallium-nitride contact layer 103 and silicon were added N type $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ crack prevention layer 104, 0.1 micrometers in thickness by which the N type $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ clad layer 105 with a thickness of 0.4 micrometers by which silicon was added, and silicon were added $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}$ of undoping of the N type gallium-nitride light-guide layer 106 and thickness 25Å (angstrom) The multiplex quantum well structure barrier layer 107 of seven periods which consist of N quantum well layers and $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ barrier layers of undoping of thickness 50Å (angstrom), and p type $\text{Al}_{0.2}$ of thickness 200Å (angstrom) by which magnesium was added 0.1 micrometers in thickness by which $\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ layer 608 and magnesium were added 0.2 micrometers in thickness by which p type gallium-nitride light-guide layer 109, the p type $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ clad layer 110 with a thickness of 0.4 micrometers by which magnesium was added, and magnesium were added The N electrode 113 which consists of the p electrode 112, titanium (the 1st layer), and aluminum (the 2nd layer) which consist of p type gallium-nitride contact layer 111, nickel (the 1st layer), and gold (the 2nd layer) of is formed. The multiplex quantum well structure barrier layer 107 and p mold $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ layer 608 are 800 degrees C in substrate temperature, and p type gallium-nitride light-guide layer 109, the p type $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ clad layer 110, and p type gallium-nitride contact layer 111 were formed at the substrate temperature of 1020 degrees C.

[0006] <<conventional example 2>> Drawing 11 is the outline cross section of the conventional gallium-nitride system light emitting diode in which the luminous layer was formed by the crystal-growth method of the conventional InGaN layer (S. Nakamura et al., Jpn.J.Appl.phys.32(1993) L8). In drawing 11 this gallium-

nitride system light emitting diode (0001) On the silicon on sapphire 201 used as a front face, a field 4 micrometers in thickness by which the gallium-nitride low-temperature growth buffer layer 102 of undoping of thickness 250A (angstrom) and silicon were added In0.2 of thickness 200A (angstrom) by which the N type gallium-nitride contact layer 103 and silicon were added The Ga0.8 N luminous layer 207, p type gallium-nitride contact layer 111 by which magnesium was added, the p electrode 212 which consists of gold, and the N electrode 213 which consists of aluminum are formed. aluminum0.2 Ga0.8 N layer 608 of the In0.2 Ga0.8 N luminous layer 207 and undoping is 800 degrees C in substrate temperature, and p type gallium-nitride contact layer 111 was formed at the substrate temperature of 1020 degrees C.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In the gallium-nitride system laser which was shown in drawing 10 and in which the barrier layer was formed by the crystal-growth method of the conventional InGaN layer After formation of the multiplex quantum well structure barrier layer 107 with a substrate temperature of 800 degrees C is completed, In order to form p type gallium-nitride light-guide layer 109, in case the temperature up of the substrate is carried out to 1020 degrees C, in order to prevent that the indium in the multiplex quantum well structure barrier layer 107 dissociates Rather than the multiplex quantum well structure barrier layer 107, the multiplex quantum well structure barrier layer 107 is touched, and aluminum0.2 Ga0.8 N layer 608 is formed in the front-face side at the same substrate temperature of 800 degrees C as the multiplex quantum well structure barrier layer 107. A lattice constant $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) and $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ ($0 < x \leq 1$) to also differ However, *****, In the conventional example 1, with 200A (angstrom), since [thick and] the thickness of aluminum0.2 Ga0.8 N layer 608 is as large as aluminum composition 0.2 A big lattice strain joins the multiplex quantum well structure barrier layer 107, and crystalline aggravation of the multiplex quantum well structure barrier layer 107 is brought about. On the other hand, it is thin in the thickness of p mold aluminum0.2 Ga0.8 N layer 608, or when aluminum composition is made small, there is a possibility that it may not be prevention, about the indium in the multiplex quantum well structure barrier layer 107 dissociating by the temperature up of a substrate.

[0008] In the gallium-nitride system light emitting diode in which the luminous layer was formed by the crystal-growth method of the conventional InGaN layer shown in drawing 11 After formation of the In0.2Ga0.8 N luminous layer 207 with a substrate temperature of 800 degrees C is completed, In order to form p type gallium-nitride contact layer 111, in case the temperature up of the substrate is carried out to 1020

degrees C, the indium in the $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ luminous layer 207 dissociates, and there is a possibility that light may not be emitted on the luminescence wavelength as a design value.

[0009] The purpose of this invention contains further an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) at least. The indium in the gallium-nitride system semiconductor layer which has a monostromatic or the $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$) of two or more layers comparatively formed at low temperature It prevents dissociating substrate temperature in connection with considering as 900 degrees C or more. And crystalline aggravation of an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$) can be minimized. A front-face side is touched at an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$) rather than an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$). By clarifying composition of the monostromatic or the two or more layers $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$) comparatively formed at low temperature which contains further an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) at least, and the range of thickness It is offering the crystal-growth method which can form a crystalline good $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$).

[0010] Furthermore, it is offering a gallium-nitride system light emitting device with sufficient properties, such as threshold current, using such a crystal-growth method.

[0011]

[Means for Solving the Problem] The crystal-growth method of the gallium-nitride system semiconductor of this invention The process which forms the monostromatic or the two or more layers $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) which contains further an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) at least at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less, The process which forms the monostromatic or the two or more layers $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) which contains further an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) at least continuously with the aforementioned process at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less, The process which makes substrate temperature 900 degrees C or more is included at least in the aforementioned sequence, and it is [0012] between the number of layers N of the aforementioned $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$), the thickness d_i ($i = 1, \dots, N$) of each class, and the aluminum composition x_i ($i = 1, \dots, N$) of each class.

[Equation 4]

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

[0013] It is characterized by filling an unrelated relation.

[0014] Moreover, the aforementioned $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) consists of two or more layers, and it is characterized by aluminum composition of a two or more

aforementioned layers $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) applying and increasing from a substrate side to a front-face side.

[0015] The manufacture method of the gallium-nitride system light emitting device of this invention The process which forms the monostromatic or the two or more layers $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) which contains further an $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) at least at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less, The process which forms the monostromatic or the two or more layers $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) which contains further an $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) at least continuously with the aforementioned process at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less, The process which makes substrate temperature 900 degrees C or more is included at least in the aforementioned sequence, and it is [0016] between the number of layers N of the aforementioned $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$), thickness d_i ($i = 1, \dots, N$) of each class, and the aluminum composition x_i ($i = 1, \dots, N$) of each class.

[Equation 5]

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

[0017] It is characterized by filling an unrelated relation.

[0018] Moreover, the aforementioned $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) consists of two or more layers, and it is characterized by aluminum composition of a two or more aforementioned layers $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) applying and increasing from a substrate side to a front-face side.

[0019] The gallium-nitride system light emitting device of this invention contains further at least the $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) which grew on the substrate and the aforementioned substrate at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less. An $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) is further included at least following a monostromatic or a two or more layers $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$), and the aforementioned $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less. It has the $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) which made substrate temperature 900 degrees C or more, and formed it after growing up a monostromatic or a two or more layers $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$). It is [0020] between the number of layers N of the aforementioned $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$), the thickness d_i ($i = 1, \dots, N$) of each class, and the aluminum composition x_i ($i = 1, \dots, N$) of each class.

[Equation 6]

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

[0021] It is characterized by filling an unrelated relation.

[0022] Moreover, the aforementioned $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) consists of two or more layers, and it is characterized by aluminum composition of a two or more aforementioned layers $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) applying and increasing from a substrate side to a front-face side.

[0023]

[Embodiments of the Invention] The gestalt of operation of this invention is explained in detail with reference to a drawing. With the gestalt of this operation, the $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) comparatively formed at low temperature on the substrate is included further at least. In order to prevent that the indium in a monostromatic or a two or more layers $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) (it is hereafter described as an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$)) dissociates in connection with the temperature up of a substrate A front-face side is touched at an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$) rather than an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$). The monostromatic or the two or more layers $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) (it is hereafter described as an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$)) which contains further at least the $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) comparatively formed at low temperature is formed.

[0024] Usually, although growth of GaN is performed at the substrate temperature of about 1000 degrees C or more, this is temperature to which not only N atom but Ga atom evaporates. However, an elevated temperature (about 1200 degrees C or more) is further needed for evaporation of aluminum atom. Therefore, when a substrate is made into 900 degrees C or more for growth, such as GaN, after growing up an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$) and an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$) at substrate 600-degree-C or more temperature of 900 degrees C or less, Ga atom evaporates from an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$). For this reason, an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$) turns into an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) to which aluminum composition became large from the temperature up front, and this layer prevents the omission of In atom. In addition, the rate of evaporation of Ga changes depending on a standby time after carrying out a temperature up in the temperature at the time of forming an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$), the temperature after a temperature up, and the speed of a temperature up until it begins growth etc.

[0025] Since a lattice constant differs from an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$), the $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) to which aluminum composition created here at the time of a temperature up became large will give aggravation to the crystallinity of an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$).

[0026] In order to minimize the influence of aggravation of this crystallinity, its attention was paid to the product of aluminum composition in an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$), and thickness as a parameter of the $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) which became large [aluminum composition] by evaporation of Ga atom. In order that aluminum composition and thickness of an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$) may investigate the influence which it has on an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$) layer, The aluminum composition 0.1 and thickness composition and thickness of an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$) The aluminum0.1 Ga0.9 N layer of 25A (angstrom) (sample 1), Three kinds of samples which the aluminum composition 0.1 and thickness make as the aluminum0.1 Ga0.9 N layer (sample 2) of 50A (angstrom) and the aluminum composition 0.1, and thickness makes the aluminum0.1 Ga0.9 N layer (sample 3) of 100A (angstrom) were created.

[0027] Hereafter, the range with optimal composition of the $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$) formed in contact with an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$) layer and thickness is explained.

[0028] Drawing 5 is an outline cross section common to three kinds of created samples. Setting to drawing 5, a sample is 330 micrometers in thickness by the organic metalization study vapor growth. To silicon-on-sapphire top 101 used as a front face, a field (11-20) 1 micrometer in the gallium-nitride low-temperature buffer layer 102 and thickness of undoping The multiplex quantum well structure 502 of five periods which consist of $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ quantum well layers of thickness 30A (angstrom) of undoping, and gallium-nitride barrier layers of thickness 90A (angstrom) of undoping at ***** 501 and the substrate temperature of 650 degrees C, 0.1 micrometers in thickness of undoping after forming the aluminum0.1Ga0.9N indium dissociation prevention layer 503 of undoping and carrying out a temperature up to the substrate temperature of 1050 degrees C The gallium-nitride layer 504 was formed.

[0029] The thickness of aluminum0.1 Ga0.9 N layer 503 drawing 6 was indicated to be to drawing 5 is as a result of [of pL spectrum / in / the room temperature of the sample 3 of 100A (angstrom) / thickness / of aluminum0.1 Ga0.9 N layer 503 / the thickness of aluminum0.1 Ga0.9 N layer 503 the sample 1 of 25A (angstrom), and drawing 7, and / in drawing 8] / measurement. / the sample 2 of 50A (angstrom) As the excitation light source in measurement of pL spectrum, it is the wavelength of 325Nm. helium-Cd laser was used.

[0030] Although aluminum0.2 Ga0.8 N layer 608 of the conventional example is thickness 200A (angstrom) and aluminum composition 0.2 Even if it makes the

thickness of an $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$), and the product of aluminum composition smaller than aluminum 0.2 Ga 0.8 N layer 608 of the conventional example Since a lattice strain with more unnecessary making the product of thickness and aluminum composition small is not introduced into an InGaN layer when there is no trouble in the purpose of preventing the maceration of an indium, it is desirable.

[0031] However, in order that only the aluminum nitride (AlN) of under a monoatomic layer may remain when Ga atom evaporates altogether from an $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$) at the time of a substrate temperature up if the product of composition and thickness becomes below 2Å (angstrom) grade, trouble is in the purpose of preventing the maceration of an indium. Therefore, as for the minimum of the product of aluminum composition of an $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$), and thickness which grows, it is desirable that it is larger than 2Å (angstrom).

[0032] the full width at half maximum of pL spectrum shown in drawing 6 in samples 1-3 on the other hand -- 105meV(s) the full width at half maximum of pL spectrum shown in drawing 7 -- 85meV(s) the full width at half maximum of pL spectrum shown in drawing 8 -- 120meV(s) it is -- the full width at half maximum of pL spectrum shown in drawing 6 and drawing 5 compared with drawing 7 becomes large

[0033] The graph which shows the relation of the full width at half maximum of the Al_{0.1} Ga_{0.9} N indium dissociation prevention layer thickness obtained from the measurement result of pL spectrum of samples 1-3 and pL spectrum is shown in drawing 9. For the full width at half maximum of pL spectrum in the threshold current density and the room temperature of a barrier layer of gallium-nitride system laser, the full width at half maximum of pL spectrum [in / the room temperature of the barrier layer / in order for there to be a close relation and to realize 2 or less-about 2 kA/cm for threshold current density] is 120meV(s). It is desirable that it is below a grade. When aluminum composition of an $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$) and the product of thickness become large, an unnecessary distortion will join an $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$), and will affect the full width at half maximum of pL spectrum. Therefore, as for the upper limit of the thickness of an $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ indium dissociation prevention layer ($0 \leq x \leq 1$), and the product of aluminum composition, it is desirable that it is smaller than 10Å (angstrom).

[0034] Thus, the relation of the number of layers N of the $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) used as an indium dissociation prevention layer, the thickness d_i ($i = 1, \dots, N$) of each class, and the aluminum composition x_i ($i = 1, \dots, N$) of each class is the following (1)

formula.

[0035]

[Equation 7]

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

[0036] Things are understood that what is necessary is just a ***** range.

[0037] In addition, in drawing 9, it is brought about from two trade-offs called unnecessary distorted reduction with antilashing of an indium that pL spectrum full width at half maximum (meV) becomes the smallest near 60A (angstrom) as thickness in aluminum composition 0.1.

[0038] The example which applied the gestalt of operation of this invention to below is explained.

[0039] <<example 1>> Drawing 1 is the outline cross section of the gallium-nitride system laser of this invention formed with the application of the composition of an indium dissociation prevention layer and the relation of thickness which were explained with the gestalt of operation. In drawing 1 this gallium-nitride system laser (11-20) On the silicon on sapphire 101 used as a front face, a field Thickness 300A 3 micrometers in thickness by which the gallium-nitride low-temperature growth buffer layer 102 of undoping of (angstrom) and silicon were added 0.1 micrometers in thickness by which the N type gallium-nitride contact layer 103 and silicon were added N type In0.05Ga0.95N crack prevention layer 104, 0.4 micrometers in thickness by which silicon was added 0.1 micrometers in thickness by which the N type aluminum0.07Ga0.93N clad layer 105 and silicon were added The N type gallium-nitride light-guide layer 106 is formed. At the substrate temperature of 800 degrees C, thickness 25A In0.2 of undoping of (angstrom) The multiplex quantum well structure barrier layer 107 of seven periods which consist of Ga0.8 N quantum well layers and In0.05Ga0.95N barrier layers of undoping of thickness 50A (angstrom), and p type aluminum0.1 of thickness 50A (angstrom) by which magnesium was added Ga0.9 N layer 108 is formed. 0.1 micrometers in thickness by which magnesium was added after that at the substrate temperature of 1020 degrees C 0.4 micrometers in thickness by which p type gallium-nitride light-guide layer 109 and magnesium were added 0.2 micrometers in thickness by which the p type aluminum0.07Ga0.93N clad layer 110 and magnesium were added p type gallium-nitride contact layer 111 of is formed. Titanium (the 1st layer) and aluminum (the 2nd layer) are used for the N electrode 113 at the p electrode 112 using nickel (the 1st layer) and gold (the 2nd layer).

[0040] In an example 1, by adopting 50A (angstrom) as thickness of aluminum0.1 Ga0.9

N layer 108, and adopting 0.1 as aluminum composition It reconciled preventing the maceration of the indium in the multiplex quantum well structure barrier layer 107 by aluminum $0.1\text{ Ga}0.9\text{ N}$ layer 108, and minimizing crystalline aggravation of the multiplex quantum well structure barrier layer 107 by aluminum $0.1\text{ Ga}0.9\text{ N}$ layer 108. Therefore, low oscillation threshold current is realized compared with the gallium-nitride system laser in which the barrier layer was formed by the crystal-growth method of the conventional InGaN layer shown in the conventional example 1.

[0041] <<example 2>> Drawing 2 is the outline cross section of the gallium-nitride system light emitting diode of this invention with which the luminous layer was formed using the crystal-growth method of the InGaN layer of this invention. In drawing 2 this gallium-nitride system light emitting diode (0001) 4 micrometers in thickness by which the gallium-nitride low-temperature growth buffer layer 102 of undoping of thickness 250A (angstrom) on the silicon on sapphire 201 which uses a field as a front face, and silicon were added The N type gallium-nitride contact layer 103 is formed. aluminum $0.2\text{ Ga}0.8\text{ N}$ layer 208 of undoping of the In $0.2\text{ Ga}0.8\text{ N}$ luminous layer 207 of thickness 200A (angstrom) by which silicon was added at the substrate temperature of 800 degrees C, and thickness 25A (angstrom) is formed. p type gallium-nitride contact layer 111 by which magnesium was added at the substrate temperature of 1020 degrees C is formed. Aluminum is used for gold and the N electrode 213 at the p electrode 212.

[0042] In an example 2, by adopting 25A (angstrom) as thickness of aluminum $0.2\text{ Ga}0.8\text{ N}$ layer 208, and adopting 0.2 as aluminum composition The maceration of the indium in the In $0.2\text{ Ga}0.8\text{ N}$ luminous layer 207 is prevented by aluminum $0.2\text{ Ga}0.8\text{ N}$ layer 208, Since it reconciled minimizing crystalline aggravation of the In $0.2\text{ Ga}0.8\text{ N}$ luminous layer 207 by aluminum $0.2\text{ Ga}0.8\text{ N}$ layer 208, Compared with the gallium-nitride system light emitting diode in which the luminous layer was formed by the crystal-growth method of the conventional InGaN layer shown in the conventional example 2, the luminescence wavelength as a design value and the emission spectrum of narrow full width at half maximum are realized.

[0043] <<example 3>> Drawing 3 is the outline cross section of the gallium-nitride system laser of this invention with which the barrier layer was formed using the crystal-growth method of the InGaN layer of this invention. In drawing 3 this gallium-nitride system laser (11-20) On the silicon on sapphire 101 used as a front face, a field Thickness 300A 3 micrometers in thickness by which the gallium-nitride low-temperature growth buffer layer 102 of undoping of (angstrom) and silicon were added 0.1 micrometers in thickness by which the N type gallium-nitride contact layer 103 and silicon were added N type In $0.05\text{ Ga}0.95\text{ N}$ crack prevention layer 104, 0.4 micrometers

in thickness by which silicon was added 0.1 micrometers in thickness by which the N type aluminum $_{0.07}$ Ga $_{0.93}$ N clad layer 105 and silicon were added The N type gallium-nitride light-guide layer 106 is formed. at the substrate temperature of 800 degrees C The multiplex quantum well structure barrier layer 107 of seven periods which consist of In $_{0.2}$ Ga $_{0.8}$ N quantum well layers of undoping of thickness 25A (angstrom) and In $_{0.05}$ Ga $_{0.95}$ N barrier layers of undoping of thickness 50A (angstrom) is formed. After that, 0.1 micrometers in thickness by which the p type AlGa $_N$ layer 308 of thickness 50A (angstrom) by which magnesium was added at the substrate temperature of 1020 degrees C, and magnesium were added 0.4 micrometers in thickness by which p type gallium-nitride light-guide layer 109 and magnesium were added 0.2 micrometers in thickness by which the p type aluminum $_{0.07}$ Ga $_{0.93}$ N clad layer 110 of and magnesium were added p type gallium-nitride contact layer 111 is formed. Titanium (the 1st layer) and aluminum (the 2nd layer) are used for the N electrode 113 in nickel (the 1st layer) and gold (the 2nd layer) at the p electrode 112.

[0044] The p type AlGa $_N$ layer 308 consists of two or more layers of aluminum composition different, respectively. The outline cross section showing the detail of the p type AlGa $_N$ layer 308 is shown in drawing 4 . In drawing 4 The p type AlGa $_N$ layer 308 Thickness 10A by which magnesium was added p type aluminum $_{0.1}$ of thickness 10A (angstrom) by which p mold aluminum $_{0.05}$ Ga $_{0.95}$ N layer 401 of (angstrom), p mold aluminum $_{0.075}$ Ga $_{0.925}$ N layer 402 of thickness 10A (angstrom) by which magnesium was added, and magnesium were added It consists of Ga $_{0.9}$ N layer 403, p mold aluminum $_{0.125}$ Ga $_{0.875}$ N layer 404 of thickness 10A (angstrom) by which magnesium was added, and p mold aluminum $_{0.15}$ Ga $_{0.85}$ N layer 405 of thickness 10A (angstrom) by which magnesium was added.

[0045] In the example 3, it reconciled preventing the maceration of the indium in the multiplex quantum well structure barrier layer 107 by the aforementioned AlGa $_N$ layer 308, and minimizing crystalline aggravation of the multiplex quantum well structure barrier layer 107 by the aforementioned AlGa $_N$ layer 308 by [which aluminum composition applies the AlGa $_N$ layer 308 to a front-face side from a substrate side, and increase] constituting by five layers of thickness 10A (angstrom), respectively. Therefore, even if compared with the gallium-nitride system laser in which the barrier layer was formed by the crystal-growth method of the InGa $_N$ layer of this invention shown in the example 1, low oscillation threshold current is realized further.

[0046] Although gallium-nitride system light emitting diode given in gallium-nitride system laser and an example 2 given in the above-mentioned example 1 and an example 3 is formed on the silicon on sapphire which uses a field (11-20) as a front face, even if it

forms a field (0001) on the silicon on sapphire used as a front face, it is convenient to operation of this invention.

[0047] Furthermore, a gallium-nitride system light emitting device given in the above-mentioned examples 1-3 is a silicon-carbide substrate or MgAl_2O_4 , even if it does not form a field (0001) or (11-20) a field on the silicon on sapphire used as a front face. When fields other than a substrate, a gallium-nitride substrate or (0001) a field, and (11-20) a field are formed on other substrates called the silicon on sapphire used as a front face, it is convenient to operation of this invention.

[0048] Moreover, operation of this invention is not restricted to the gallium-nitride system light emitting device of the structure shown in the above-mentioned example, and it is convenient in the gallium-nitride system light emitting device of various combination, such as thickness of each class, composition of each class, doping concentration of each class, and an electrode material.

[0049] Moreover, the $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) which prevents the maceration of an indium does not need to be p type with which magnesium as shown in the above-mentioned example 1 and the example 3 was added, or undoping as shown in the above-mentioned example 2, and even if it is the N type by which silicon etc. was added, trouble does not have it in operation of this invention.

[0050] Moreover, the $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) which prevents the maceration of an indium Even if it consists of two or more layers from which aluminum composition differs and it does not increase [aluminum composition as it indicated to be to the above-mentioned example 3 even if applies and] from a substrate side to a front-face side There is an effect equivalent to the $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 \leq x \leq 1$) of the monolayer of the gallium-nitride system laser shown in the example 1. Moreover, it is applicable also to an example 2.

[0051] moreover, aluminum_{0.1} Ga_{0.9} Non GaN on aluminum_{0.2}Ga_{0.8} N on the indium dissociation layer of a multilayer like GaN -- each aluminum composition and thickness -- taking into consideration -- and 600 degrees C or more 900 degrees C or less -- what is necessary is just to grow up the multilayer at low temperature comparatively

[0052] In addition, although this example indicated the case where an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$) was made into a barrier layer or a luminous layer, it is not restricted to this.

[0053]

[Effect of the Invention] In the gallium-nitride system semiconductor layer which has the monostromatic or the $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$) of two or more layers in which this invention contains further an $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer ($0 < x \leq 1$) at least Even if

substrate temperature becomes 900 degrees C or more, the maceration of an indium can be prevented and crystalline aggravation of an $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$) can be minimized.

[0054] Moreover, since a crystalline good $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ growth phase ($0 \leq x \leq 1$) can be formed, although a light emitting device with sufficient properties, such as threshold current, is offered, it can do.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the outline cross section of the gallium-nitride system laser of this invention with which the barrier layer was formed using the crystal-growth method of the InGa N layer of this invention shown in the example 1.

[Drawing 2] It is the outline cross section of the gallium-nitride system light emitting diode of this invention which was shown in the example 2 and with which the luminous layer was formed using the crystal-growth method of the InGa N layer of this invention.

[Drawing 3] It is the outline cross section of the gallium-nitride system laser of this invention with which the barrier layer was formed using the crystal-growth method of the InGa N layer of this invention shown in the example 3.

[Drawing 4] It is the outline cross section of the AlGa N indium dissociation prevention layer of the gallium-nitride system laser of this invention shown in drawing 7.

[Drawing 5] It is the outline cross section of samples 1-3.

[Drawing 6] It is the graph which shows the measurement result of pL spectrum of a sample 1.

[Drawing 7] It is the graph which shows the measurement result of pL spectrum of a sample 2.

[Drawing 8] It is the graph which shows the measurement result of pL spectrum of a sample 3.

[Drawing 9] It is the graph in samples 1-3 which shows the relation of the full width at half maximum of aluminum $_{0.1}$ Ga $_{0.9}$ N indium dissociation prevention layer thickness and pL spectrum.

[Drawing 10] It is the outline cross section of the gallium-nitride system laser using the Prior art.

[Drawing 11] It is the outline cross section of gallium-nitride system light emitting diode using the Prior art.

[Description of Notations]

101 (11-20) Silicon on Sapphire Which Uses Field as Front Face
102 Gallium-Nitride Low-temperature Growth Buffer Layer
103 N Type Gallium-Nitride Contact Layer
104 N Type $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ Crack Prevention Layer
105 N Type $\text{Aluminum}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ Clad Layer
106 N Type Gallium-Nitride Light-Guide Layer
107 Multiplex Quantum Well Barrier Layer
108 P Mold $\text{Aluminum}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ Layer
109 P Type Gallium-Nitride Light-Guide Layer
110 P Type $\text{Aluminum}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ Clad Layer
111 P Type Gallium-Nitride Contact Layer
112 P Electrode Which Consists of Nickel and Gold
113 N Electrode Which Consists of Titanium and Aluminum
201 (0001) Silicon on Sapphire Which Uses Field as Front Face
207 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ Luminous Layer
208 $\text{Aluminum}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ Layer
212 P Electrode Which Consists of Gold
213 N Electrode Which Consists of Aluminum
308 P Type AlGaN Layer
401 P Mold $\text{Aluminum}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ Layer
402 P Mold $\text{Aluminum}_{0.075}\text{Ga}_{0.925}\text{N}$ Layer
403 P Mold $\text{Aluminum}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ Layer
404 P Mold $\text{Aluminum}_{0.125}\text{Ga}_{0.875}\text{N}$ Layer
405 P Mold $\text{Aluminum}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ Layer
501 Gallium-Nitride Layer
502 Multiplex Quantum Well Structure
503 $\text{Aluminum}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ Layer
608 P Mold $\text{Aluminum}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ Layer